



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona

Sensorització d'una granja avícola per a gallines en llibertat

Treball Final de Grau
Enginyeria Agrícola

Autor: Raoul Ferrer Fernandez

Tutor: Marcos Quílez Figuerola

Castelldefels, Setembre 2020



Resum

L'objectiu d'aquest projecte és dissenyar i construir un prototipus que permeti explorar les possibilitats que ofereix la sensorització, l'automatització i la internet de les coses (IoT) en una explotació avícola de gallines en llibertat.

En el treball s'estudia quines activitats o processos podrien beneficiar-se de la introducció de sensors i elements d'automatització. Entre les activitats identificades s'han seleccionat les més significatives i s'ha construït un prototip amb sensors i connexió a internet per posar a l'abast de l'avicultor la informació rellevant per a la gestió de la granja. El prototip construït permet el monitoratge de la temperatura i humitat ambiental, la dosificació automàtica o manual del pinso, l'estudi del comportament de les gallines a l'explotació. La connexió del prototip a internet permet guardar les dades al núvol, fent que siguin accessibles des de qualsevol dispositiu amb un navegador, i també enviar alertes al mòbil de l'avicultor en cas de produir-se determinades incidències.

Paraules clau: sensorització, IoT, avicultura, avicultura ecològica, gallines en llibertat, ESP32, open hardware.

Resumen

El objetivo de este proyecto es diseñar y construir un prototipo que permita explorar las posibilidades que ofrece la sensorización, la automatización y la internet de las cosas (IOT) en una explotación avícola de gallinas en libertad.

En el trabajo se estudia qué actividades o procesos podrían beneficiarse de la introducción de sensores y elementos de automatización. Entre las actividades identificadas se han seleccionado las más significativas y se ha construido un prototipo con sensores y conexión a internet para poner al alcance del avicultor la información relevante para la gestión de la granja. El prototipo construido permite la monitorización de la temperatura y humedad ambiental, la dosificación automática o manual del pienso, el estudio del comportamiento de las gallinas a la explotación. La conexión del prototipo en internet permite guardar los datos en la nube, haciendo que sean accesibles desde cualquier dispositivo con un navegador, y también enviar alertas al móvil del avicultor en caso de producirse ciertos eventos.

Palabras clave: sensorización, IoT, avicultura, avicultura ecológica, gallinas en libertad, ESP32, open hardware.



Abstract

The aim of this project is to design and build a prototype to explore the possibilities offered by sensorization, automation and the Internet of Things (IoT) in a free-range poultry farm.

This work studies which activities or processes could benefit from the introduction of sensors and automation elements. Among the activities identified, the most significant ones have been selected and a prototype with sensors and an internet connection has been built to provide the farmer with the relevant information for the management of the farm. The prototype built allows the monitoring of the ambient temperature and humidity, the automatic or manual dosing of the feed, the study of the behavior of the hens in the farm. Connecting the prototype to the internet allows data to be stored in the cloud, making it accessible from any device with a browser, and also sending alerts to the poultry farmer's mobile phone in the event of certain incidents.

Keywords: sensorization, IoT, poultry farming, organic poultry farming, free hens, ESP32, open hardware.



Índex

1. Introducció	7
2. Objectiu	9
3. Metodologia	10
4. Anàlisi dels problemes en una explotació avícola per gallines en llibertat	11
4.1. Mesura del nivell de pinso a les menjadores	11
4.2. Estudi del comportament de les gallines a l'explotació.....	11
4.3. Dosificació del pinso	12
4.4. Monitoratge de la temperatura i humitat ambientals	13
4.5. Monitoratge de la temperatura corporal de les gallines	13
4.6. Detecció de l'ou de gallina	14
4.7. Detecció de possibles depredadors a l'explotació	14
4.8. Selecció dels casos d'estudi	15
5. Disseny i construcció del prototip.....	16
5.1. Unitat de control	17
5.1.1. Material	17
5.1.1.1. Placa de desenvolupament NodeMCU i eines de programació.....	17
5.1.1.2. ThingSpeak.....	19
5.1.1.3. Bot de Telegram.....	20
5.1.1.4. Llibreries utilitzades	21
5.2. Monitoratge de la temperatura i humitat ambiental.....	23
5.2.1. Materials	23
5.2.1.1. Sensor de temperatura i humitat DHT11	23
5.2.1.2. Llibreries utilitzades	25
5.2.2. Diagrama de cablejat i esquema de connexions	25
5.3. Dosificació del pinso	27
5.3.1. Material	27
5.3.1.1. Servo Motor	27
5.3.1.2. Llibreries utilitzades	28
5.3.2. Diagrama de cablejat i esquema de connexions	29
5.4. Estudi del comportament de les gallines a l'explotació.....	30
5.4.1. Material	30

5.4.1.1.	RFID-RC522	31
5.4.1.2.	Llibreries utilitzades	32
5.4.2.	Diagrama de cablejat i esquema de connexions	32
5.5.	Prototip final. Integració dels subsistemes	33
5.5.1.	Algorisme de control	34
5.5.1.1.	Codi.....	34
5.5.1.2.	Diagrama de cablejat i esquema de connexions.....	36
6.	Resultats	38
6.1.	Prototip final	38
6.2.	Resultats secundaris	40
6.3.	Valoració	41
7.	Conclusions	42
8.	Referències	44
Annexos	46
Annex 1.	Codi del prototip final	46

Agraïments

Després d'un llarg camí arriba el final d'una gran etapa en la meva vida, la universitat. Diuen que la universitat és de les millors etapes de la vida, i és així. En aquesta etapa hi ha hagut moments bons i dolents, però em quedo sobretot amb el que he après i amb la formació rebuda tant professionalment com personalment. Sobretot agrair haver viscut aquesta etapa, ja que gràcies a això he conegut i tinc formant part de la meva vida unes grans amistats. Ramon, Micky, Cristian, Alfred, Anna, Maria i Laia, moltes gràcies per haver-hi estat i per seguir amb mi.

En primer lloc vull agrair als meus pares i als meus germans el suport i la confiança establerta en mi per aconseguir arribar al final d'aquest gran camí.

Als meus amics, que sempre han estat allà, al meu costat, en qualsevol moment per tal d'animar-me i donar-me forces per seguir endavant. En especial, agrair haver conegut al Ramon i al Micky, ja que gràcies a ells em van començar a sorgir idees que han derivat en aquest treball. "Sempre recordaré la rutina de cafè, cigarro, gallines i converses intenses a les 8 del matí".

A la meva parella, que cada dia està amb mi donant-me suport i valorant tot el que faig, i que m'anima cada dia a seguir fent el que m'agrada, seguir endavant i gaudir de cada instant de la vida. Gràcies per tot i per seguir cada dia al meu costat.

Al meu avi, que no ho ha pogut veure, que sempre deia que a la vida s'ha de estudiar i lluitar per el que un vol.

I per últim, al Marcos, el meu tutor i guia del treball, qui des de l'instant que li vaig proposar aquest treball ho va acceptar amb ganes i sempre en tot moment ha estat ajudant-me i donant-me suport. Gràcies per la confiança posada en mi.

Moltes gràcies a tots per formar part d'aquest camí.



1. Introducció

En els darrers anys, s'observa una forta tendència a introduir tecnologies noves a l'àmbit agrícola per tal de facilitar la feina diària de l'agricultor. Actualment, està sorgint el que rep el nom d'Agricultura 4.0 [1]. Aquesta agricultura es basa en utilitzar tota la informació que poden arribar a subministrar els sensors presents en una explotació agrícola i connectats a internet. És una aplicació més del que s'anomena Internet de les coses (IoT). Centralitzar totes aquestes dades a través d'internet permet analitzar la informació de forma conjunta, a distància i utilitzant potents sistemes informàtics. Gràcies a aquesta tecnologia l'agricultor té a les seves mans una eina molt potent a l'hora de prendre decisions per la seva explotació. Alguns exemples els trobem en, l'agricultura de precisió, l'automatització dels tractors a partir de sistemes GPS, el monitoratge de les característiques i la qualitat del sol i de l'aigua, supervisió amb l'ajuda de drons etc. La introducció d'aquestes eines tecnològiques en l'agricultura provocarà, sens dubte, canvis laborals dins del sector, eliminant alguns llocs de treball, però de la mateixa manera creant-ne d'altres de nous. Dins de l'agricultura, els àmbits en els que s'ha fet més ús d'aquesta tecnologia han estat l'agricultura extensiva, l'horticultura i la fructicultura. Però actualment, ja s'estan fent estudis sobre la implementació d'aquestes tècniques en l'àmbit de la ramaderia. És una situació més complexa ja que es tracta i es treballa amb animals, a més cal tenir en compte el benestar de l'animal [2].

També, en l'actualitat es troben projectes en els quals ja s'han fet estudis sobre la aplicació de les tecnologies TIC (Tecnologies de la informació i la comunicació) en granges agrícoles [3][4], i articles on es pot observar que ja s'hi ha aplicat aquesta tecnologia [5].

A partir del que s'ha esmentat, i de la meua pròpia experiència en una granja ecològica de gallines en llibertat sorgeix la idea d'introduir aquesta tecnologia a l'àmbit de l'avicultura, específicament a una granja ecològica de gallines en llibertat. Al trobar-se en llibertat, les gallines tenen la possibilitat de moure's lliurement per tots els racons de l'explotació. Això planteja algunes dificultats, com haver de recórrer la finca per buscar i recollir els ous, ja que les gallines poden fer la posta allí on vulguin. És cert que les gallines són animals rutinaris i acostumen a pondre a un mateix entorn on s'hi senten més còmodes, però cal anar-hi i verificar si han post un ou. Disposar d'un sistema que detectés l'ou i avisés l'avicultor que cal recollir-lo resultaria útil. Aquesta idea em va fer veure que hi ha altres aspectes de la gestió d'una granja avícola que podrien beneficiar-se de la sensorització i de la Internet de les coses. Aquest treball es va plantejar amb la intenció d'explorar les possibilitats que ofereixen

aquestes noves tecnologies i la seva viabilitat a l'hora de ser aplicades en una explotació avícola.

L'estudi està centrat en gallines ponedores ecològiques i en llibertat, però podria extrapolar-se sense cap problema a altres animals ramaders, com poden ser les vaques, els porcs, les cabres, els pollastres.

2. Objectiu

L'objectiu d'aquest projecte és dissenyar i construir un prototipus que permeti una prova de concepte per explorar les possibilitats que ofereix la sensorització, l'automatització i la internet de les coses (IoT) en una explotació avícola de gallines en llibertat.

A priori, i com a hipòtesi de partida que ha motivat aquest treball, es considera que l'automatització de les menjadores i abeuradors, i la detecció de la posta d'ous són les millores que presenten més interès i que la seva realització és tècnicament viable. Bona part d'aquest treball consistirà en proposar diferents activitats per automatitzar i seleccionar les que presentin major interès i puguin posar-se en pràctica amb la tecnologia disponible. La prova de concepte ha de permetre valorar la viabilitat tècnica de les propostes i si les millores plantejades són susceptibles de ser explotades de forma útil.

3. Metodologia

En aquest apartat es presenta la metodologia que s'ha seguit en la realització d'aquest treball per assolir l'objectiu plantejat. En primer lloc, s'ha fet una anàlisi de l'explotació d'una granja avícola de gallines en llibertat per confeccionar una llista d'activitats o processos que podrien beneficiar-se de la introducció de sensors i elements d'automatització.

Tot seguit, a partir de les situacions incloses a la llista, s'ha seleccionat el conjunt de casos d'estudi a considerar en aquest treball. La selecció dels casos que volem sensoritzar, juntament amb les automatitzacions que vulguem introduir, determinaran el tipus de sensors i actuadors que necessitem i també el disseny global del sistema electrònic.

Un cop determinades les característiques i els components que haurà de tenir el sistema electrònic, procedirem a dissenyar el prototip. En primer lloc dissenyarem i construirem la unitat central del sistema, responsable de recollir la informació dels sensors, processar-la, executar els algorismes d'automatització, i també de la transmissió de la informació recollida. Seguidament, dissenyarem i construirem els subsistemes electrònics corresponents a cadascun dels casos seleccionats.

Aquesta forma de treballar facilitarà la posada en marxa del sistema, ja que es podrà verificar el correcte funcionament de cadascun dels subsistemes esmentats. Un cop tots ells funcionin satisfactòriament individualment, es procedirà a integrar-los tots en el prototipus final i programar la unitat central per tal que tots els subsistemes funcionin de forma conjunta i coordinada.

Per últim, amb el prototip disponible, es podrà valorar el funcionament i l'interès de la solució tecnològica proposada.

4. Anàlisi dels problemes en una explotació avícola per gallines en llibertat

Les explotacions avícoles de gallines en llibertat presenten alguns aspectes que podrien beneficiar-se de la incorporació de sensors i elements d'automatització, facilitant la feina de l'avicultor. A partir de la pròpia experiència en avicultura ecològica, i el meu coneixement del sector, podem destacar els següents aspectes de gestió que poden ser millorats a partir d'automatitzacions: mesura del nivell de pinso a les menjadores, l'estudi del comportament de les gallines a l'explotació, la dosificació del pinso, el monitoratge de la temperatura i humitat ambiental, el monitoratge de la temperatura corporal de les gallines, la detecció de l'ou de la gallina i la detecció de possibles depredadors a l'explotació.

A continuació s'exposen les característiques particulars de cadascun d'aquests set aspectes, i per últim es trien el més convenients per a ser tractats en aquest treball.

4.1. Mesura del nivell de pinso a les menjadores

L'avicultor ha d'anar com a mínim un cop al dia a la zona de les gallines per repartir el pinso a les menjadores. És freqüent que l'avicultor vagi a distribuir el pinso i trobi que les menjadores estan mig plenes i no sigui necessari afegir-n'hi més pinso. Per tant, seria interessant fer una sensorització que permeti conèixer el nivell de pinso a les menjadores.

Aquesta sensorització podria permetre a l'avicultor no haver d'estar pendent de la quantitat de pinso que tenen les gallines i li permetria no haver de traslladar-se a les gallines per saber si hi ha pinso o no. La sensorització es podria fer a partir d'un sensor de nivell per sòlids [6] que es trobaria a les menjadores. Utilitzant IoT, proporcionant una connexió a internet a les menjadores, l'avicultor podria consultar el nivell de pinso en qualsevol moment. O fins i tot, rebre una alarma al mòbil, de forma automàtica, de si el nivell és inferior a un llindar fixat.

4.2. Estudi del comportament de les gallines a l'explotació

Com s'ha explicat anteriorment, el fet de tenir les gallines en llibertat permet que puguin moure's lliurement per l'explotació. Les gallines són uns animals que en moments de calor busquen refugis d'ombra. Aquest, pot ser un moment en el qual les gallines es trobin més juntes depenent dels llocs d'ombra que tingui l'explotació. En aquesta situació (i en d'altres també) és important que s'eviti la jerarquització entre les gallines, ja que això pot provocar picatges entre elles i que es facin mal. Per tant, pot ser interessant fer un estudi o tenir un

registre de com es comporten les gallines en l'explotació. Aquest estudi podria permetre a l'avicultor conèixer per quins espais de l'explotació es mouen més les gallines i obtenir informació sobre el seu benestar, conèixer quines gallines ingereixen més de pinso i aigua, quines menys i conèixer el comportament social que presenten les gallines entre elles. La sensorització es podria fer a partir d'un mòdul RFID en forma d'anell que portarien posat les gallines en una de les potes (evitant fer-li mal al animal i assegurant el seu benestar), i instal·lar en llocs clau i determinats de l'explotació lectors que permetin recollir la informació quan detecten la gallina. En aquest cas, no és important consultar les dades en temps real, tenir el sistema connectat a internet permetria accedir a la informació remotament, sense necessitat d'anar a la granja a recollir els registres.

Una experiència similar on s'està fent un estudi i s'està portant a terme la monitorització del benestar de cada animal a la granja es presenta a [2].

4.3. Dosificació del pinso

En avicultura ecològica, habitualment, les gallines es poden trobar a dos llocs durant el dia: a la nau on tenen els seus ajocadors que ofereixen 18 cm/gallina, els nius, jaç, menjadores i abeuradors; i el patí exterior de l'explotació on les gallines tenen la possibilitat de pasturar i no haver de alimentar-se exclusivament de pinso [7]. En canvi, les gallines ecològiques en llibertat es troben tot el dia a la zona del patí de l'explotació i tenen a l'abast, en la mateixa zona, tant el pinso en les menjadores com la opció de pasturar. En l'avicultura ecològica es recomana que l'alimentació diària de les gallines sigui en un 90% pinso i en un 10% pastures. Per gallines en llibertat l'avicultor és qui ha de anar a l'explotació a posar el pinso a les menjadores. El problema és que a l'hora de introduir el pinso a les menjadores, les gallines hi van directament per alimentar-se fins que s'acaba, per tant, seria interessant realitzar una automatització que permeti regular el pinso de les menjadores i així les gallines s'alimentin durant el dia en una combinació de pinso i pastures.

Aquesta automatització podria permetre a l'avicultor controlar l'alimentació de les gallines i evitar que aquestes s'alimentin de pinso des del moment que l'avicultor els hi dona fins que s'acaba, sinó que permeti durant tot el dia una combinació entre pinso i pastures. L'automatització es podria fer incorporant un petit motor a les menjadores i a partir de la programació generar un dosificador temporitzat (a partir d'alarmes) a les hores i dies que desitgi l'avicultor, de forma que el motor obri la menjadora deixi caure el pinso i després es tanqui fins que es doni la següent alarma. En aquest cas, una connexió a internet del sistema

seria útil si fos necessari anular l'automatisme i accionar els dosificadors remotament, per exemple des d'un mòbil.

4.4. Monitoratge de la temperatura i humitat ambiental

Les gallines són animals que viuen confortablement en un interval de temperatura ambiental d'entre 12 °C i 24 °C. És cert que aquests animals poden arribar a suportar temperatures de -10 °C fins a -12 °C, però les altes temperatures poden provocar a les gallines una reducció de la ingesta, del pes, de la mida, de la posta i un augment del nerviosisme i del picatge. En canvi, les baixes temperatures poden provocar un augment de la despesa energètica, un augment de la ingesta i una baixada del pes.

En quant a la humitat ambiental, es considera correcte per les gallines una humitat d'entre el 40 % i el 70 %. Si la humitat és més baixa que aquest interval, li pot provocar a la gallina problemes respiratoris; en canvi, si la humitat és més elevada que aquest interval, li pot provocar un estrès tèrmic, que els llits estiguin humits i que proliferin microbis [7].

Per tant, la monitorització d'aquests paràmetres pot permetre a l'avicultor conèixer la temperatura i la humitat ambiental que hi ha a cada instant en l'explotació de les gallines i li permetria saber si les gallines es poden o no trobar en situació de perill. El monitoratge es podria fer a partir d'un sensor de temperatura i humitat. Incloure connexió a internet permetria un registre al núvol, a més, l'avicultor podria consultar les dades en temps real des d'un ordinador, tableta o mòbil, o fins i tot rebre una notificació al mòbil en cas de produir-se unes condicions ambientals superiors o inferiors a uns llindars de confort.

4.5. Monitoratge de la temperatura corporal de les gallines

Les gallines són una espècie d'au que necessiten una temperatura corporal d'entre 40 °C i 42 °C per poder viure amb normalitat, i això va directament relacionat amb la temperatura i la humitat ambiental. Per tal de que la gallina pugui mantenir-se en aquest interval de temperatura corporal, aquesta necessita trobar-se un ambient el qual presenti una temperatura ambiental d'entre 12 °C i 24 °C i una humitat d'entre 40 % i 70 %. Per aquests motius en l'època d'estiu quan les gallines es troben pel pati de l'explotació sempre busquen llocs d'ombra.

Aquesta sensorització podria permetre obtenir dades en tot moment de la temperatura corporal de la gallina, i pot ajudar a l'avicultor a prevenir cops de calor d'alguna gallina o la prevenció de alguna possible malaltia o que alguna gallina pugui arribar a morir per un augment o disminució de la seva temperatura corporal. La sensorització es podria fer



incorporant un termòmetre digital a partir d'un termistor, per exemple, en format d'anell en una de les potes de la gallina. Podria instal·lar-se al mateix anell que el dispositiu RFID esmentat a l'apartat 4.2. En aquest cas, la connexió a internet permetria guardar al núvol un registre de la temperatura de cada gallina i enviar alertes a l'avicultor en cas de detectar una temperatura corporal fora del seu lliar de confort.

4.6. Detecció de l'ou de gallina

Al tenir les gallines en llibertat aquestes poden pondre els ous en el lloc que més desitgin de l'explotació. Per tant, l'avicultor ha de buscar els ous per tal de recollir-los. La idea d'aquesta sensorització és la d'aconseguir detectar l'ou quan la gallina l'hagi posat i d'aquesta forma oferir al avicultor facilitat i reducció de temps en el moment de recollir els ous.

Com s'ha explicat, al trobar-se les gallines en llibertat posen l'ou en qualsevol lloc de l'explotació complicant d'aquesta forma la recollida dels ous per part de l'avicultor. Però, s'ha de remarcar que la gallina és un animal amb rutines; és a dir, sempre aniran a pondre els ous a l'espai on ella se senti més còmoda. Per tant, cal tenir en compte aquesta informació si es vol realitzar la sensorització dels ous.

La sensorització per a detectar l'ou es podria fer a partir de sensors de pes instal·lats estratègicament, més concretament, a partir de una cel·la de càrrega ja que al ser variable el pes del ou no és necessari obtenir una elevada precisió. El principal problema que pot haver-hi és que a part del pes del ou el sensor també determinaria el pes de la gallina, el pes de la terra/pols de l'explotació i el sensor sense cap pes. Caldria doncs, que el sistema disposés d'algun sistema d'autocalibratge. També es podria valorar l'ús de càmeres de vídeo amb un sistema de visió artificial i processar de forma conjunta la informació de vídeo i la dels sensors de pes. Aquest cas necessita un estudi de la situació de l'explotació i s'han d'establir les variables que es necessiten per tal de arribar a l'objectiu de detectar l'ou de la gallina.

4.7. Detecció de possibles depredadors a l'explotació

Al tenir les gallines en llibertat amb la possibilitat de trobar-se tot al dia al pati de l'explotació és possible l'aparició d'un depredador que faci mal a les gallines. Per tant, és interessant plantejar si, a partir d'una sensorització, es podria resoldre aquest problema.

La finalitat d'aquesta sensorització és permetre a l'avicultor detectar i controlar que no hi hagi cap possible depredador (ocells, rates, serps, etc.) per l'explotació, que pugui posar en perill la vida o salut de les gallines. La idea inicial seria utilitzar sensors de moviment, a partir de

càmeres de vídeo que realitzin reconeixement de patrons i d'imatge, que detecti el possible depredador. Aquest sistema podria utilitzar tècniques de visió artificial i intel·ligència artificial. Aleshores, a partir d'aquesta detecció que s'emeti un so que faci marxar l'invasor, però sense que aquest soroll posi en perill a les gallines ni els pugui generar un possible estrès (el qual podria provocar que aquestes no posin ous, o altres efectes negatius). O també, que en l'instant de la detecció s'avisí al avicultor via mòbil o a través d'algun dispositiu. La connexió a internet, en aquest cas permetria enviar les dades recollides pel sensor a un sistema extern, on funcionaria l'algorisme d'intel·ligència artificial per a processar la informació. Seria un sistema similar als assistents de veu dels telèfons mòbils, on el telèfon capta la veu, la transmet a un servidor extern que és qui processa la informació i fa el reconeixement lingüístic.

4.8. Selecció dels casos d'estudi

A partir de l'anàlisi dels problemes que es poden donar en una explotació avícola ecològica de gallines en llibertat, s'han triat els quatre casos més rellevants considerant la seva incidència en el dia a dia de l'explotació d'una granja. En la selecció, també s'ha considerat la dificultat o la viabilitat de la tecnologia necessària. Aquests quatre casos es presenten ordenats de menor a major dificultat, i són els següents:

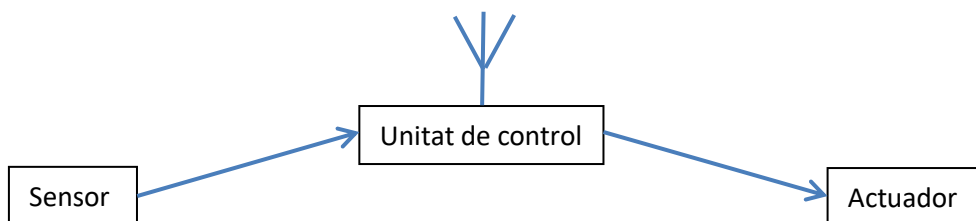
- Monitoratge de la temperatura i humitat ambiental
- Dosificació del pinso
- Estudi del comportament de les gallines a l'explotació
- Detecció de l'ou de la gallina

Dels quatre casos, la detecció dels ous és el més ambiciós i el que presenta més novetat i major dificultat. Cal fer un estudi previ in situ que permeti determinar totes les variables necessàries per plantejar la sensorització. La idea inicial era realitzar aquest estudi en una explotació avícola de gallines en llibertat. Però, degut a la situació excepcional de confinament per COVID-19, no va ser possible accedir a la granja i es va haver de decidir no realitzar la detecció de l'ou de gallina.

5. Disseny i construcció del prototip

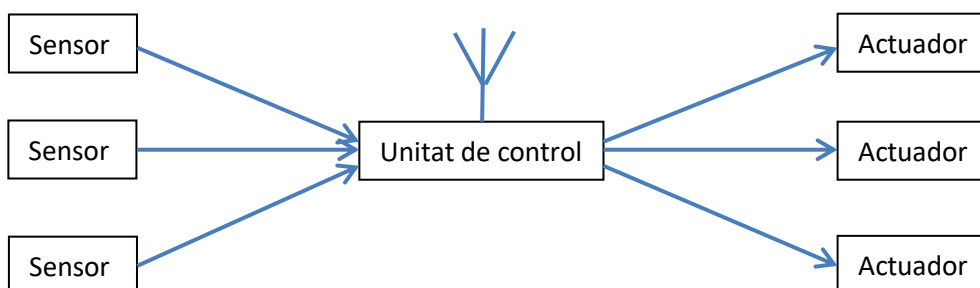
En aquest capítol s'exposa el disseny i la construcció de la sensorització i automatització de cadascun dels casos seleccionats, intentant aconseguir la funcionalitat que s'ha indicat per a cadascun d'ells. Per facilitar el procés de disseny i la validació del seu funcionament, s'ha considerat cada cas de forma individual. Construint un primer prototipus per a cada situació a sensoritzar. Finalment, s'han integrat tots els subsistemes en un sol prototipus que gestiona de forma conjunta la informació dels sensors i les comunicacions a través d'internet.

El disseny utilitzat ha facilitat la integració, ja que tots els subsistemes segueixen la mateixa estructura, que es mostra a la figura 5-1. Com es pot veure, l'estructura es basa en una unitat central que recull la informació del sensor (o sensors) i, en funció dels valors mesurats, acciona l'actuador (o actuadors) corresponents. Aquesta unitat central també és responsable de les connexions a internet. Per integrar tots els subsistemes en un únic prototipus, s'ha utilitzat una única unitat central que recull la informació de tots els sensors i gestiona tots els actuadors, tal i com es mostra a la figura 5-2. Per fer-ho ha estat necessari adaptar els algoritmes de les primeres unitats centrals i ajuntar-los en un únic algoritme.



Font: Elaboració pròpia

Figura 5-1: Disseny de l'estructura de cada subsistema.



Font: Elaboració pròpia

Figura 5-2: Disseny de l'estructura de tots els subsistemes integrats.

Al apartats següents es presenten els materials i els components emprats, així com les particularitats rellevants del disseny de cada subsistema. Donat que tots els subsistemes comparteixen un mateix disseny de la unitat de control, aquesta unitat es descriu en primer lloc una sola vegada. Finalment es presenta el disseny del prototipus unificat amb el codi final que gestiona la informació de tots els sensors

5.1. Unitat de control

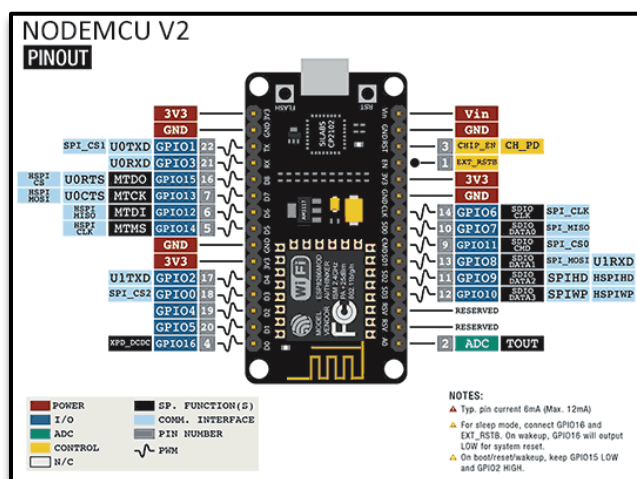
La unitat de control és el sistema electrònic responsable de llegir la informació dels sensors i, seguint l'algorisme programat activar els actuadors. També és responsable de les connexions a internet. Els materials fonamentals en la construcció de la unitat de control són: la placa NodeMCU ESP32 (eina física), les llibreries del programari d'Arduino (eina de programació) i les eines relacionades amb IoT.

5.1.1. Material

5.1.1.1. Placa de desenvolupament NodeMCU i eines de programació

NodeMCU és una placa de desenvolupament molt utilitzada en la construcció de prototips. Pot estar basada en diferents processadors. Els més populars són l'ESP8266 i l'ESP32. Aquest últim, ofereix més prestacions i és el que incorpora el nostre prototip. NodeMCU és un nom que recull tant un firmware open source, com la placa de desenvolupament. Però actualment quan es parla de NodeMCU normalment és per referir-se a la placa física. Aquesta placa ens ofereix un conjunt de ports digitals i analògics d'entrada on connectar sensors, ports digitals de sortida per controlar els actuadors, la possibilitat de connexió a WiFi, connexió a Bluetooth (que nosaltres no utilitzem) i capacitat per a executar els algorismes de funcionament. Tot això en un espai reduït que permet obtenir un prototip molt compacte [8]. A la figura 5-3 es mostra un diagrama de les connexions disponibles a la placa.

Per tal de poder programar la placa NodeMCU ESP32 l'hem instal·lat en l'entorn de programació d'Arduino. Arduino és un altra placa de prototipatge open source molt popular. Com que la placa NodeMCU serà la mateixa que s'utilitzarà en cadascun dels casos escollits, la instal·lació serà única. Per realitzar la instal·lació de la placa s'ha de obrir el programari d'Arduino i buscar la opció de "Gestor de targetes" i buscar la nostra placa i instal·lar-la (figura 5-4). El següent pas és anar a "Eines" i a la part de "Placa" buscar la placa instal·lada i seleccionar una de les opcions, que per cadascun dels casos s'ha emprat la placa "ESP32 Wrover Module".



Font: Luís Llamas

Figura 5-3: Esquema de connexions (pinout) del NodeMCU.

Font: Gestor de targetes de la plataforma d'Arduino

Figura 5-4: Finestra d'instal·lació de la placa NodeMCU ESP32.

Una eina que facilita molt la programació necessària per llegir els sensors i activar els actuadors són les llibreries. Les llibreries són fragments de codi fets per terceres persones o programadors que s'incorporen al nostre codi. Les llibreries són una gran ajuda ja que ens facilita molt la programació i permet l'abstracció fent que el nostre programa sigui més senzill de fer i d'entendre. Actualment, disposem de nombroses llibreries, i totes elles de codi obert. Al instal·lar-les tenim a la nostra disposició el codi de la llibreria i diversos exemples d'utilització [9]. En aquest projecte hem utilitzat diferents llibreries que es presentaran a mesura que apareguin a la descripció de cada subsistema.

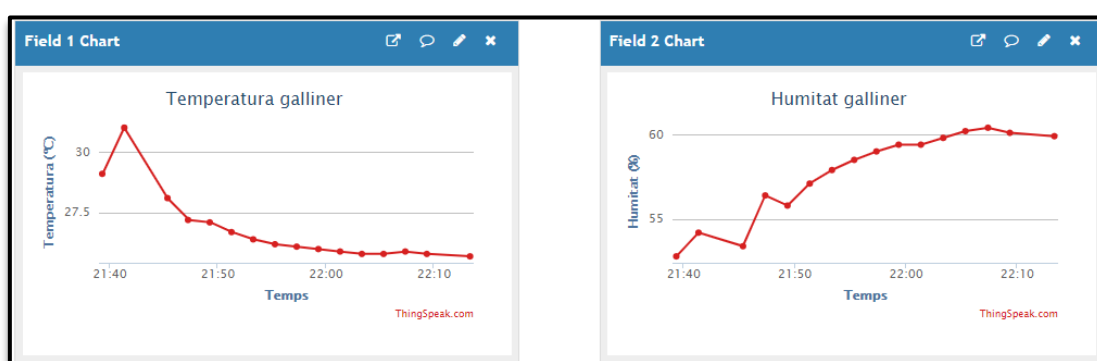
El sistema que estem dissenyant ha de permetre un registre de les dades mesurades que es puguin consultar en tot moment i en temps real. També volem que l'avicultor rebi un avís al mòbil quan es produeixen certes incidències a l'explotació. Serà necessària la implementació

d'eines, que formen part de la Internet de les coses (IoT), i que ens donaran aquesta possibilitat. És necessari fer constar que per tal que aquestes eines funcionin, la placa de programació haurà de estar connectada a la xarxa WiFi i de l'explotació i disposar de connexió a internet.

5.1.1.2. ThingSpeak

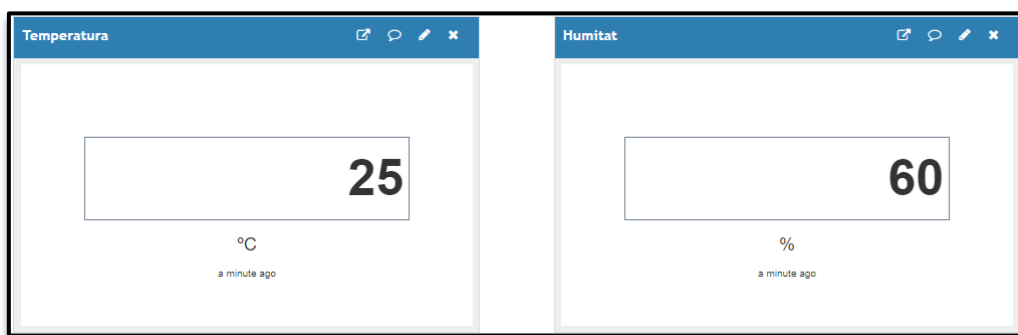
ThingSpeak és una plataforma de la Internet de les coses (IoT) de codi obert, i un API (Application Programming Interface o Interfície de Programació d'Aplicacions) per poder emmagatzemar i recuperar dades de coses utilitzant HTTP (Hypertext Transfer Protocol o Protocol de transferència d'hipertext) a través d'Internet. ThingSpeak permet recollir i emmagatzemar dades de sensors en el núvol i desenvolupar aplicacions IoT. També ofereix aplicacions que permeten analitzar i visualitzar les dades a MATLAB i actuar sobre les dades [10] [11].

Per la monitorització de la temperatura i humitat ambiental s'ha utilitzat l'aplicació de ThingSpeak, ja que aquesta ha permès tenir constància de les dades obtingudes pel sensor DHT11 en forma de gràfics per la temperatura i la humitat ambient de la zona de l'explotació on es troben les gallines. I també, d'aquesta manera proporcionar-li al avicultor un estudi ambiental i estadístic d'aquesta zona. La figura 5-5 mostra un exemple dels registres que poden realitzar-se al núvol de ThingSpeak, mentre que la figura 5-6 mostra una consulta del valor de la darrera mesura.



Font: Elaboració de ThingSpeak a partir de les dades del sensor.

Figura 5-5: Exemple de registres de temperatura i humitat ambient publicades al núvol de ThingSpeak.



Font: Elaboració de ThingSpeak a partir de les dades del sensor.

Figura 5-6: Exemple de valors de temperatura i humitat ambient consultats en temps real al núvol de ThingSpeak.

5.1.1.3. Bot de Telegram

Un bot és un programa informàtic que realitza automàticament tasques repetitives a través d'Internet, i pot ser implementat per a tasques que requereixin d'una resposta ràpida.

El bot de Telegram és una eina dels creadors de Telegram que permet que qualsevol usuari que tingui instal·lada la aplicació pugui crear i tenir el seu propi bot. En el nostre cas, la creació d'un bot de Telegram ens ha permès obtenir la informació que ens aporta el sensor de temperatura i humitat en temps real, i d'aquesta forma permetre al avicultor estar informat en tot moment i de forma ràpida de la temperatura i humitat que hi ha en l'explotació on es troben les gallines.

La eina que permetrà la creació del bot per automatitzar el projecte rep el nom de BotFather. Quan s'està dins l'aplicació de telegram s'ha de fer la cerca de la eina introduint el seu nom complet: @BotFather, i es podrà fer la creació del bot a partir de les indicacions i un manual de com funcionen els bots que proporciona el BotFather [12].

La figura 5-7 mostra un exemple de registres de temperatura i humitat ambient a partir del bot de telegram.



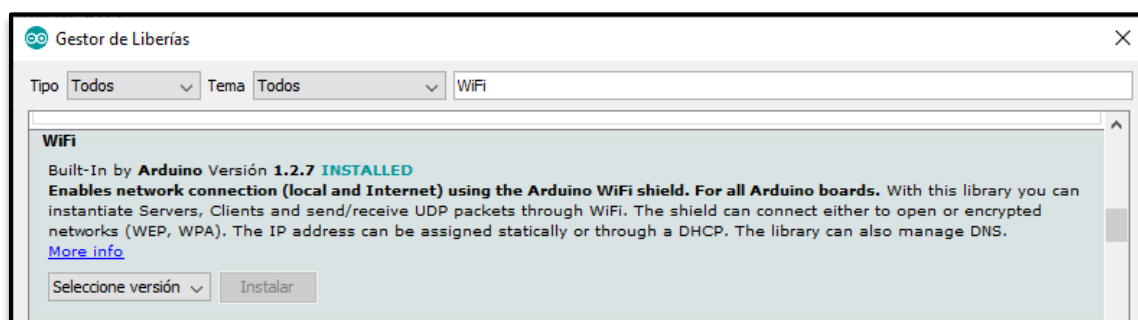
Font: Elaboració pròpia a partir del bot creat.

Figura 5-7: Exemple de registres de temperatura i humitat ambient a partir del bot de telegram.

5.1.1.4. Llibreries utilitzades

La instal·lació de totes les llibreries emprades s'ha realitzat directament des del programari d'Arduino, anant a "Eines", seleccionant la part d' "Administració de Biblioteques" i ja des de allà buscar les llibreries necessàries i instal·lar-les. Les llibreries que s'han emprat per a gestionar la comunicació per internet han estat les següents:

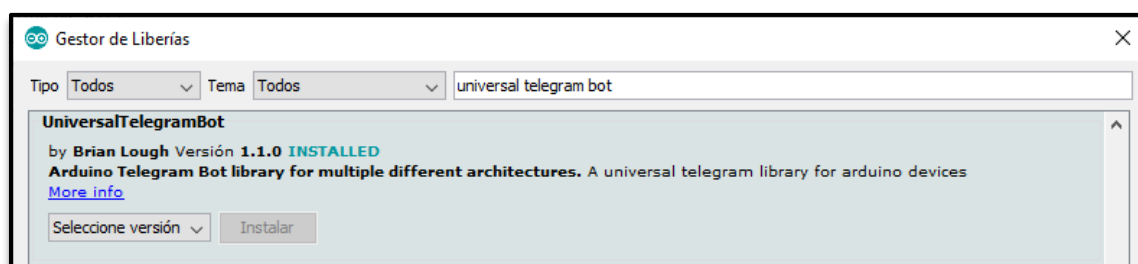
- Mòdul WiFi ESP32: → el mòdul WiFi ESP32, que ve incorporat a la placa NodeMCU, és un xip el qual permetrà realitzar la connexió via WiFi. Per poder realitzar aquesta connexió serà necessari la implementació de dos llibreries: "<WiFi.h>" i "<WiFiClientSecure>". Totes dues llibreries es poden utilitzar a l'hora d'instal·lar la llibreria "WiFi".



Font: Gestor de llibreries de la plataforma d'Arduino.

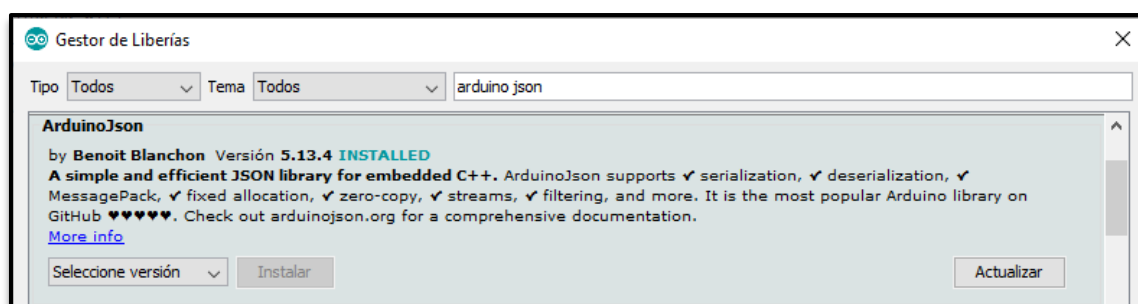
Figura 5-8: Finestra d'instal·lació de la llibreria "WiFi".

- Bot de Telegram: → per tal de poder accedir al bot del Telegram i poder interactuar amb l'usuari un cop es desenvolupi el programa, serà necessari implementar dos llibreries que permetran realitzar aquestes accions. Aquestes llibreries són les següents: "UniversalTelegramBot" i "ArduinoJson". La llibreria ArduinoJson és la que s'encarrega de gestionar els objectes JSON que utilitza l'API de Telegram per poder enviar o rebre missatges, per tant, és del tot necessària ja que la llibreria "UniversalTelegramBot" la utilitza per processar tota la informació.



Font: Gestor de llibreries de la plataforma d'Arduino.

Figura 5-9: Finestra d'instal·lació de la llibreria "UniversalTelegramBot".



Font: Gestor de llibreries de la plataforma d'Arduino.

Figura 5-10: Finestra d'instal·lació de la llibreria "ArduinoJson".

- ThingSpeak: → per tal de poder accedir a la aplicació del Thing Speak i poder enviar en aquesta les dades registrades pel sensor de temperatura i humitat serà necessari la implementació d'una llibreria que permetrà aquestes accions. La llibreria que s'ha emprat per la interacció amb l'aplicació rep el nom de "ThingSpeak".



Font: Gestor de llibreries de la plataforma d'Arduino.

Figura 5-11: Finestra d'instal·lació de la llibreria "ThingSpeak".

5.2. Monitoratge de la temperatura i humitat ambiental

L'objectiu d'aquest sistema és obtenir la temperatura i humitat ambiental de la zona de l'explotació on es troben les gallines per tenir un registre d'aquestes dades, i poder consultar-ho en tot moment i en temps real. Per tant, oferiria una valuosa ajuda al avicultor qui tindria en les seves mans la possibilitat de conèixer la temperatura i la humitat ambiental que hi ha a cada instant en l'explotació de les gallines des d'un ordinador, tableta o mòbil, i d'aquesta forma saber si les gallines es poden o no trobar en situació de perill.

Per aconseguir aquest objectiu serà necessari la utilització d'un sensor de temperatura i humitat el qual estarà connectat a la unitat de control que gestionarà les dades i les transmetrà quan sigui necessari. A continuació es descriuen les parts que no han estat presentades a l'apartat de la unitat de control.

5.2.1. Materials

Per escollir el material a utilitzar per la realització d'aquest monitoratge s'ha tingut en compte la finalitat i el tipus de mesures a realitzar. Com a sensor, s'utilitzarà el sensor DHT11, dissenyat per a mesurar temperatura i humitat ambiental.

5.2.1.1. Sensor de temperatura i humitat DHT11

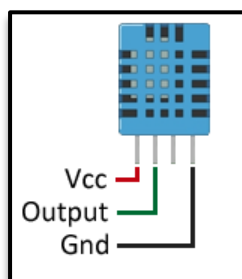
Dins de la família dels sensors de temperatura i humitat n'hi ha dos de molt populars: el DHT11 i el DHT22. Aquests sensors disposen d'un processador intern que realitza el procés de mesura mitjançant un senyal digital, el que permet que sigui molt senzill obtenir les mesures des d'un microprocessador com pot ser Arduino. El DHT22 presenta millors característiques i per tant un preu més elevat [13]. La comparació entre aquests dos sensors de la mateixa família és la següent:

Taula 1: Comparació entre sensor DHT11 i DHT22.

	DHT11	DHT22
Mesura de la temperatura	De 0 °C a 50 °C → precisió de 2 °C	-40 °C a 125 °C → precisió de 0,5 °C
Mesura de la Humitat	20 % a 80 % → precisió del 5 %	0 % a 100 % → precisió del 2 % al 5 %
Freqüència de la mostra	1 mostra per segon (1 Hz)	2 mostres per segon (2 Hz)
Color	Carcassa blava	Carcassa blanca
Preu	Des de 0,70 €	Des de 2,40 €

Font: Elaboració pròpia amb dades de Luís Llamas.

Per aquest monitoratge s'ha decidit utilitzar el sensor de temperatura i humitat DHT11 degut a que presenta un preu més baix i perquè pel projecte no es requereix de una precisió molt elevada, per tant aquest sensor s'adapta de forma correcta a les exigències del projecte. Però si es volgués canviar de sensor, posar el DHT22 en comptes del DHT11, no hi hauria cap problema, es podria fer, i no implica cap canvi de disseny.

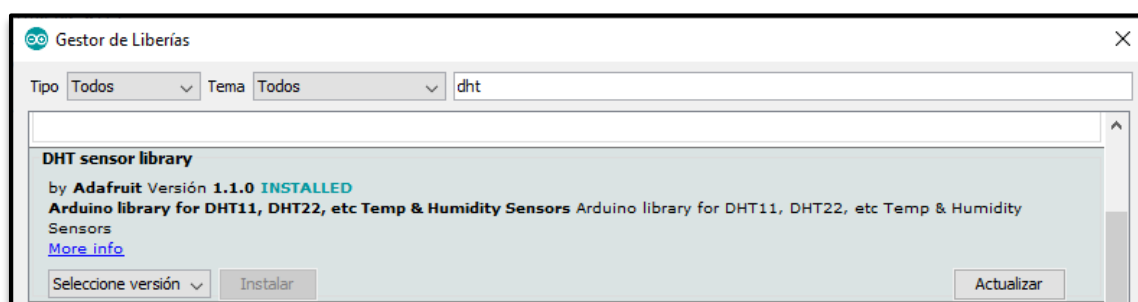


Font: Luís Llamas.

Figura 5-12: Connexions (pinout) del sensor DHT11.

5.2.1.2. Llibreries utilitzades

- Sensor de temperatura i humitat DHT11: → per poder implementar el sensor de temperatura i humitat en el codi d'Arduino serà necessari la utilització d'una llibreria. En el cas d'aquest sensor, tal com s'ha explicat anteriorment en l'explicació d'aquest material, es troben dos tipus dels quals s'utilitzarà el DHT11 per la realització d'aquesta monitorització. La llibreria que s'utilitzarà és la "DHT sensor library" que es pot fer servir tant pel DHT11 com pel DHT22, per tant, si en qualsevol moment es volgués canviar de sensor no s'hauria de variar cap aspecte del codi.

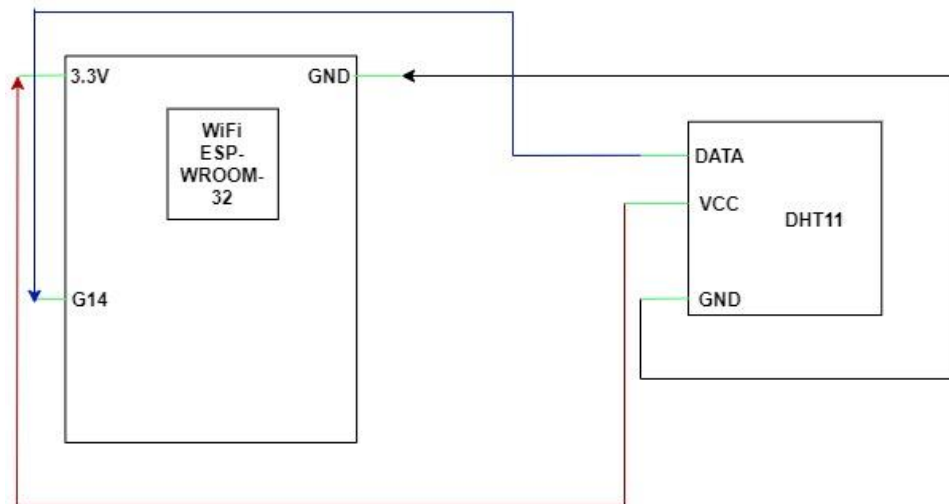


Font: Gestor de llibreries de la plataforma d'Arduino.

Figura 5-13: Finestra d'instal·lació de la llibreria "DHT sensor library".

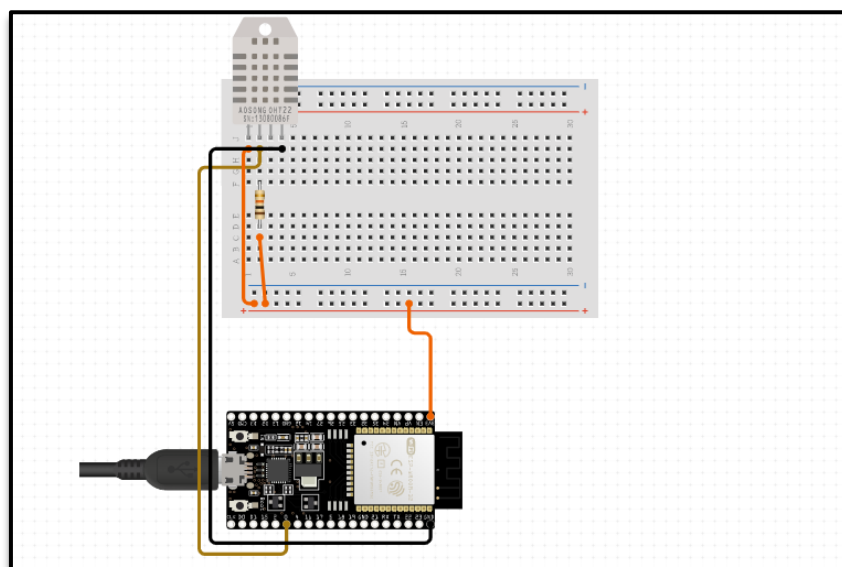
5.2.2. Diagrama de cablejat i esquema de connexions

L'esquema de connexions i el cablejat per al muntatge es mostren a les figures 5-14 i 5-15 respectivament.



Font: Elaboració pròpia.

Figura 5-14: Esquema de connexions entre la placa NodeMCU ESP32 i el sensor DHT11.



Font: Elaboració pròpia.

Figura 5-15: Diagrama de cablejat entre la placa NodeMCU ESP32 i el sensor DHT11.

5.3. Dosificació del pinso

L'objectiu d'aquesta automatització és poder controlar l'alimentació de les gallines evitant que s'alimentin només de pinso des del moment que l'avicultor els hi dona fins que s'acaba. Per tant, aquest control permetria una combinació diària de pinso i de pastures obtingudes en la zona de l'explotació.

Per aconseguir aquest objectiu serà necessari la utilització d'un motor que estarà connectat a la placa de programació, i permetrà omplir les menjadores a unes hores prefixades. La placa de programació estarà connectada a la xarxa WiFi i al router de l'explotació tenint així la possibilitat d'obtenir la data i hora actuals d'un servidor horari. Per tant, això és el que permetrà el control del motor, ja que es programarà un algorisme que només activi el motor per tal de servir el pinso a les hores triades per l'avicultor. Així, el dosificador de la menjadora només s'obrirà a les hores programades, i deixarà caure el menjar i després es tancarà. També es permet el control manual del motor a partir del mateix bot de telegram que s'utilitza amb el sensor de temperatura i humitat.

5.3.1. Material

Per escollir el material a utilitzar per la realització de la dosificació del pinso s'ha tingut en compte l'objectiu i el que es vol arribar a fer amb aquesta automatització.

En primer lloc, per poder obrir i tancar la menjadora serà necessari la utilització d'un motor que ho permeti, i per aquesta automatització s'ha escollit un servo motor ja que és un motor senzill i que per aquesta automatització és suficient. Per fer la dosificació a distància és necessari fer ús de les possibilitats de comunicació de la unitat de control descrites anteriorment.

5.3.1.1. Servo Motor

Un servo és un tipus d'actuador utilitzat en electrotècnia. A diferència d'altres motors que el que es controla és la velocitat de gir, en un servo el que es fa directament és indicar l'angle al qual es desitja que es mogui, i aquest s'encarrega de realitzar aquesta acció. Els servos disposen d'un rang de moviment d'entre 0 a 180°. Dos aspectes negatius del servo és que no són capaços de donar la volta per complet, i que les velocitats de gir són petites enfront dels motors de corrent continu. L'aspecte positiu és que un servo presenta internament un mecanisme reductor proporcionant d'aquesta forma un alt parell i un alt grau de precisió [14].

Dins dels servos de baix preu utilitzats per projectes petits es destaquen tres de diferents: SG90, MG90S, i MG996R.

Taula 2: Tipus de Servo Motor.

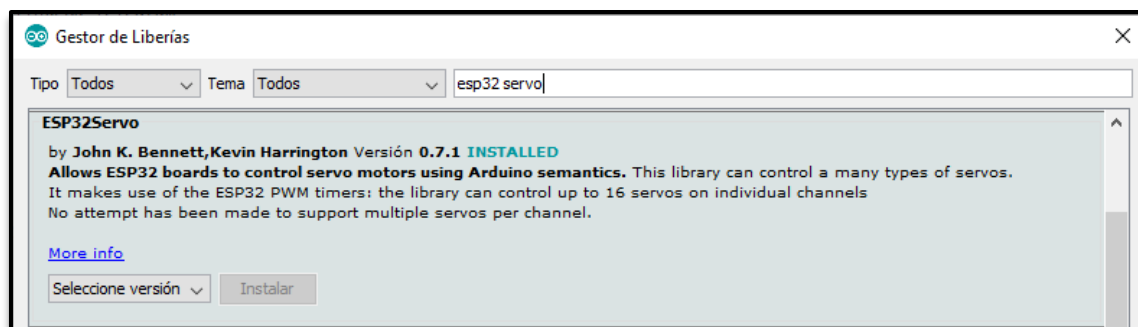
	SG90	MG90S	MG996R
Torque	1,4 kg·cm	1,8 kg·cm	13 kg·cm (4,8V) 15 Kg·cm (6V)
Velocitat	0,1 seg/60° (4,8V) 0,08 seg/60° (6V)	0,1 seg/60° (4,8V) 0,08 seg/60° (6V)	0,17 seg/60° (4,8V) 0,13 seg/60° (6V)
Dimensions	21,5 x 11,8 x 22,7mm	22,8 x 12,2 x 28,5mm	40 x 19 x 43mm
Pes	9 g	13,4 g	56 g
Preu	1,20 €	2 €	3,70 €

Font: Elaboració pròpia amb dades de Luís Llamas.

Per realitzar la dosificació del pinso s'ha decidit utilitzar el Servo Motor SG90, ja que les característiques que presenta són suficients per complir amb els requisits que demana el projecte i realització d'una prova de concepte. De totes formes, si es volgués canviar en qualsevol moment el tipus del servo no hi hauria cap problema, es podria fer sense cap risc i sense canvis rellevants en el disseny.

5.3.1.2. Llibreries utilitzades

- Servo motor: → en el cas del servo motor no podem utilitzar la llibreria "Servo", la qual s'utilitzaria amb qualsevol placa Arduino, amb la placa NodeMCU ESP32 ja que l'arquitectura d'aquesta llibreria no és compatible amb la placa. Per tant, és necessari buscar una llibreria que presenti una arquitectura que coincideixi i permeti la seva connexió amb la placa NodeMCU ESP32. La llibreria que s'ha utilitzat és la "ESP32Servo", i tal com s'ha comentat aquesta presenta una arquitectura que és compatible amb la placa utilitzada.

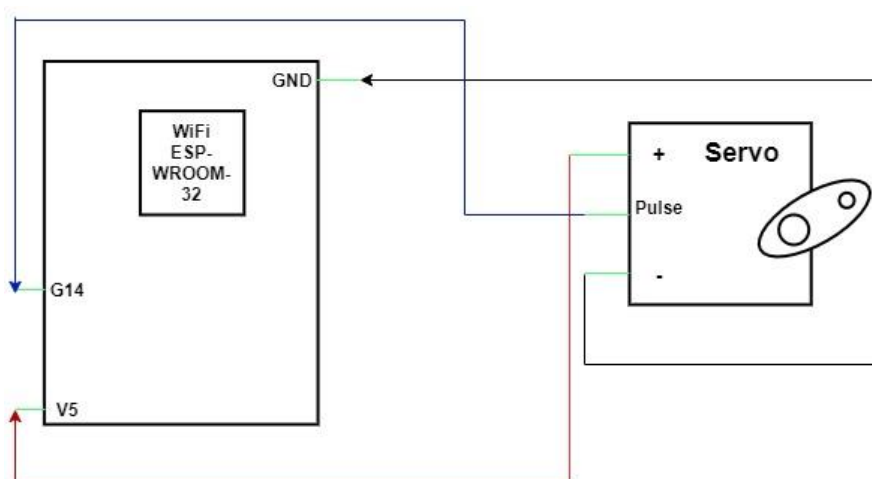


Font: Gestor de llibreries de la plataforma d'Arduino.

Figura 5-16: Finestra d'instal·lació de la llibreria pel Servo Motor.

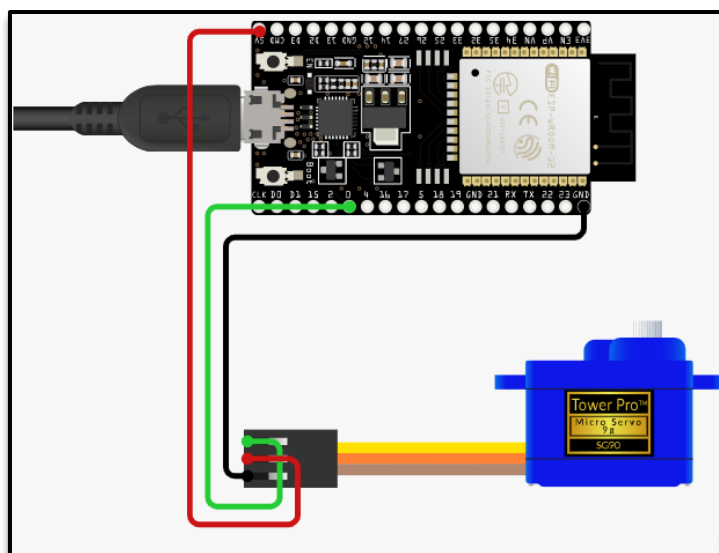
5.3.2. Diagrama de cablejat i esquema de connexions

L'esquema de connexions i el cablejat per al muntatge es mostren a les figures 5-17 i 5-18 respectivament.



Font: Elaboració pròpia.

Figura 5-17: Esquema de connexions entre la placa NodeMCU ESP32 i el Servo Motor.



Font: Elaboració pròpia.

Figura 5-18: Diagrama de cablejat entre la placa NodeMCU ESP32 i el Servo Motor.

5.4. Estudi del comportament de les gallines a l'explotació

L'objectiu d'aquesta automatització és permetre al avicultor conèixer per quins espais de l'explotació es mouen les gallines i obtenir informació sobre el seu comportament en el dia a dia.

Per arribar en aquest objectiu serà necessari la utilització d'un mòdul RFID en forma d'anell que portin posat les gallines en una de les potes (sempre pensant en el benestar animal), i instal·lar en llocs clau i determinants de l'explotació lectors que permetin recollir la informació quan detectin a les gallines. Depenent de on es trobin els lectors l'avicultor rebrà diversos tipus d'informació (conèixer quines gallines consumeixen més o menys pinso i aigua, i conèixer el comportament social que tenen les gallines entre elles en l'explotació).

5.4.1. Material

Per escollir el material a utilitzar per la realització del estudi del comportament de les gallines a l'explotació s'ha tingut en compte l'objectiu i el que es vol arribar a fer amb aquesta automatització.

L'automatització es realitzarà a partir d'un mòdul de lector RFID-RC522 el qual està compost per un lector MFRC522 i de targetes que no presenten circuits actius addicionals. La idea d'aquesta automatització és que els lectors estiguin repartits en les diverses menjadores i llocs

claus de la zona on es troben les gallines, i les targetes les portin les gallines en forma d'anell en una de les potes. Per tant, quan les gallines passin pels lectors instal·lats, aquests recolliran la informació que es busca. Igual que en els altres dos subsistemes, en aquest també es farà ús de la connexió WiFi que ve donada pel mòdul WiFi ESP32. Les dades captades pels lectors seran enviades a ThingSpeak per tal de tenir constància del comportament de les gallines a l'explotació.

5.4.1.1. RFID-RC522

El RFID (Identificador per radiofreqüència) és un conjunt de tecnologies dissenyades per llegir etiquetes (tags) a distància sense fils. Aquestes etiquetes RFID no necessiten bateries per funcionar, i s'en poden trobar en una gran varietat de formats, com ara adhesius, targetes, clauers, poden integrar-se en un determinat producte o, fins i tot, inserir sota la pell en un animal o humà. El lector és en un emissor-receptor que, emet una senyal per iniciar la comunicació amb les etiquetes. Aquesta senyal és captada per les etiquetes dins de l'abast, les quals responen a aquesta senyal transmetent la informació que emmagatzemen i que serà captada i descodificada pel lector RFID. Pot operar en quatre bandes de freqüència, sent la més freqüent la de 13,56 MHz [15].

- Baixa freqüència de 125 kHz a 13,42 kHz: → emprada pel control d'animals, claus d'automòbils etc.
- Alta freqüència de 13,56 MHz: → emprada pel control d'accessos, control d'articles en botigues etc.
- Ultra alta freqüència (UHF) de 868 MHz a 956 MHz.
- Microones de 2,45 GHz.



Font: Luís Llamas.

Figura 5-19: Lector i targetes RFID.

5.4.1.2. Llibreries utilitzades

- RFID: → en el cas del mòdul RFID la llibreria emprada és la “MFRC522” (figura 5-20), la qual a diferència del cas de la llibreria del servo, aquesta és compatible tant per qualsevol placa d'Arduino com per la placa NodeMCU ESP32.

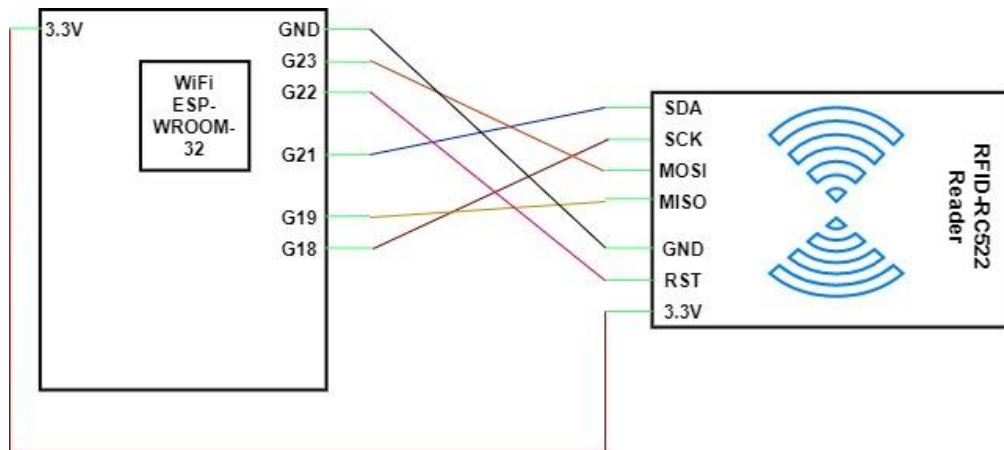


Font: Gestor de llibreries de la plataforma d'Arduino.

Figura 5-20: Finestra d'instal·lació de la llibreria pel mòdul RFID.

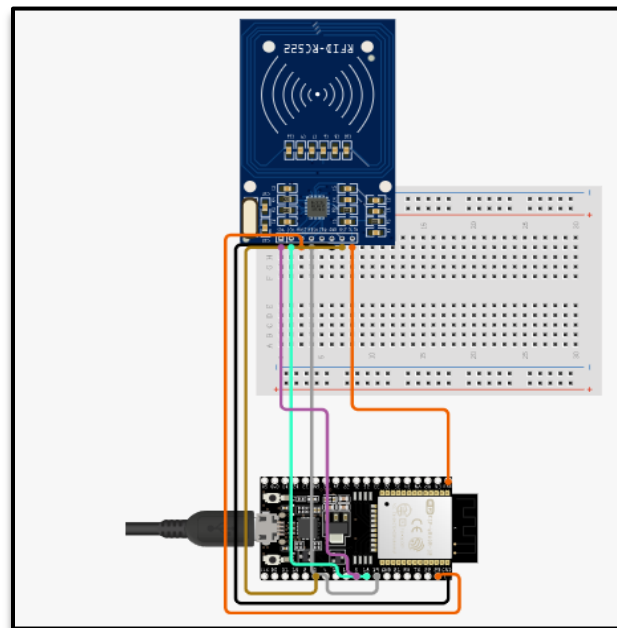
5.4.2. Diagrama de cablejat i esquema de connexions

L'esquema de connexions i el cablejat per al muntatge es mostren a les figures 5-21 i 5-22 respectivament.



Font: Elaboració pròpia.

Figura 5-21: Esquema de connexions entre la placa NodeMCU ESP32 i el Mòdul RFID.



Font: Elaboració pròpia.

Figura 5-22: Diagrama de cablejat entre la placa NodeMCU ESP32 i el Mòdul RFID.

5.5. Prototip final. Integració dels subsistemes

Com que tots els prototips comparteixen una mateixa estructura al voltant d'una mateixa unitat de control, la integració de tots ells en un únic prototip final només requereix connectar

tots els sensors i actuadors a la mateixa unitat de control i modificar l'algorisme o codi de programació per gestionar tots els dispositius connectats.

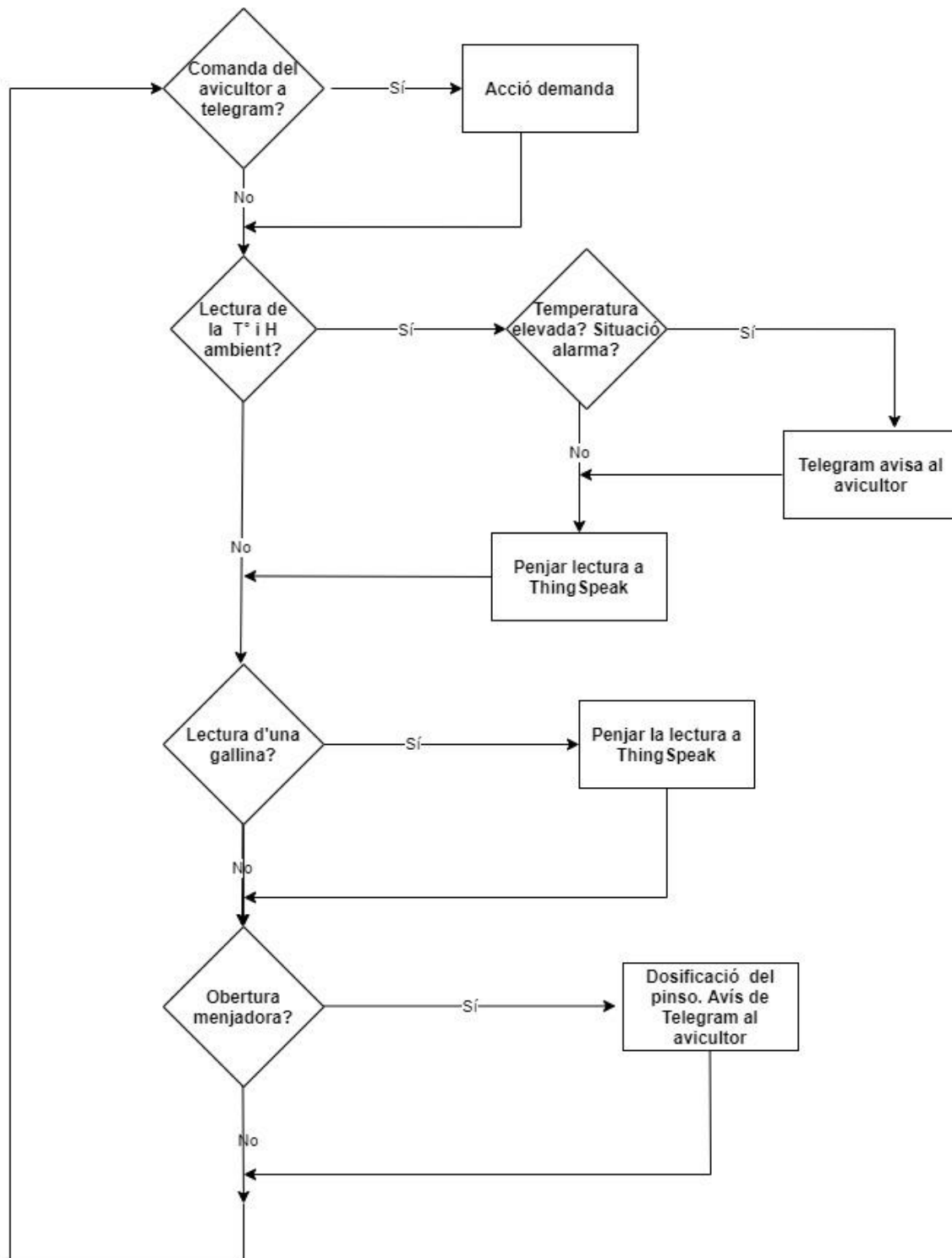
Tots els materials utilitzats ja han estat descrits anteriorment, per tant aquí només presentarem el codi final de l'algorisme de la unitat de control i el nou diagrama de connexions.

5.5.1. Algorisme de control

5.5.1.1. Codi

La forma més entenedora de descriure l'algorisme de control del prototipus final és a partir del seu diagrama de flux que es mostra a la figura 5-23.

Per facilitar la lectura d'aquests document, el codi pròpiament dit es presenta a l'annex 1.

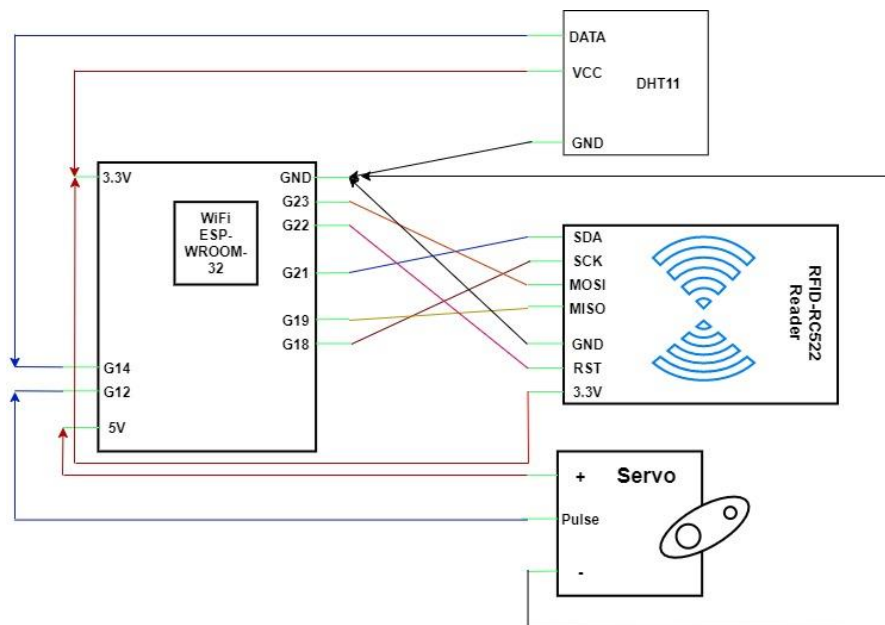


Font: Elaboració pròpia.

Figura 5-23: Diagrama final de l'algorisme de control del prototipus final.

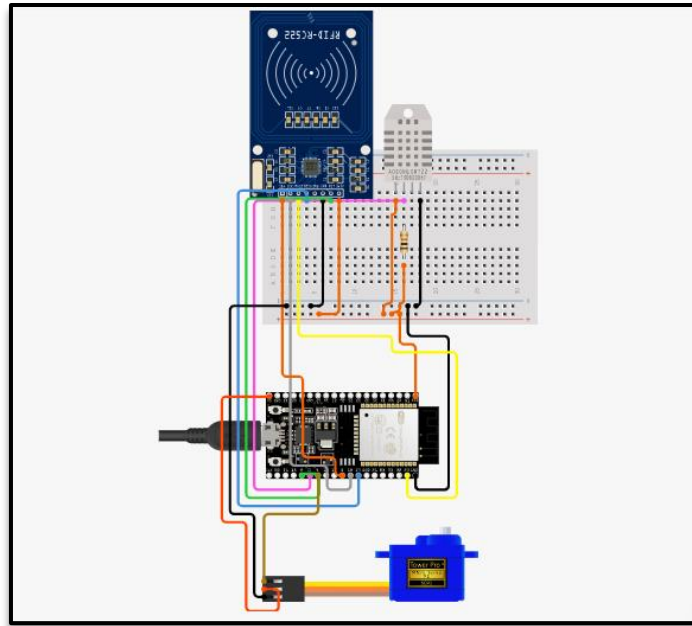
5.5.1.2. Diagrama de cablejat i esquema de connexions.

L'esquema de connexions i el cablejat per al muntatge es mostren a les figures 5-24 i 5-25 respectivament.



Font: Elaboració pròpia.

Figura 5-24: Esquema de connexions entre la placa NodeMCU ESP32, el Mòdul RFID, el DHT11 i el Servo Motor.



Font: Elaboració pròpia.

Figura 5-25: Diagrama de cablejat entre la placa NodeMCU ESP32, el Mòdul RFID, el DHT11 i el Servo Motor.

6. Resultats

El principal resultat d'aquest treball és el prototip final que integra en un sol sistema totes les sensoritzacions i automatitzacions considerades. Però hem obtingut també altres resultats parcials o secundaris, que també presenten interès. D'una banda, cadascun dels subsistemes construïts han servit com a etapes per arribar a l'objectiu del projecte, però cadascun d'ells pot funcionar de forma individual i per tant poder considerar-se com a resultats secundaris d'aquest treball.

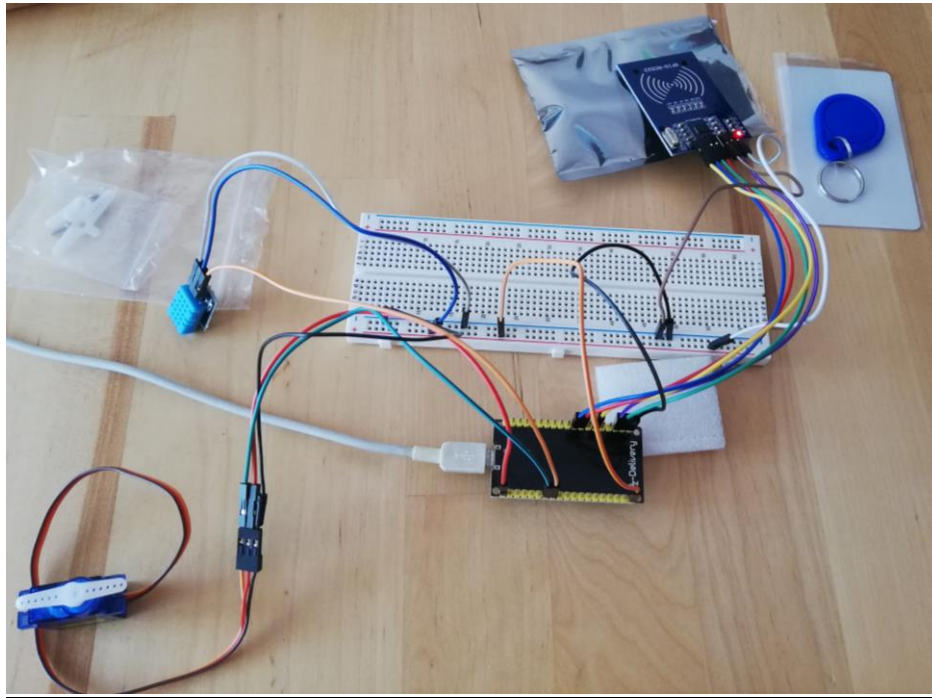
A més a més, el coneixement i experiència adquirits durant el disseny, construcció i verificació del funcionament del prototip són fruit de la intenció d'explorar declarada als objectius. Així doncs, l'expertesa adquirida pot ser considerada com uns resultats intangibles que queden reflectits en la valoració dels altres resultats.

6.1. Prototip final

El prototip final s'ha construït seguint el disseny descrit a l'apartat 5 i 5.5, i a les figures 5-2, 5-24 i 5-25 on es mostren dibuixos del resultat de la seva construcció. En la figura 6-1 es pot observar el resultat final obtingut del muntatge del prototip final.

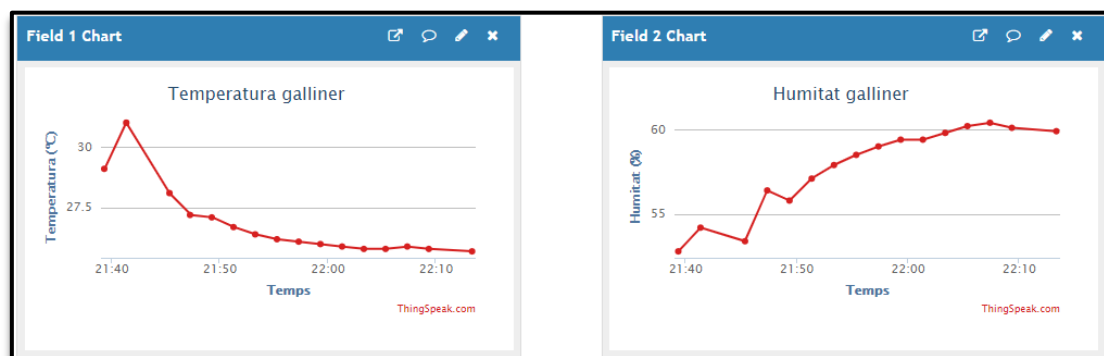
Es disposa d'un sistema que ofereix obtenir un registre de la temperatura i la humitat ambient (figura 6-2), la dosificació automàtica i programada del pinso a les menjadores, i un registre de pas de cada gallina per determinats punts de l'explotació (figura 6-3). Tots els registres són accessibles a través d'internet. A més a més, l'avicultor rep una notificació al mòbil quan els sensors detecten que s'han superat certs llindars. Així mateix, l'avicultor pot operar les menjadores remotament des del mateix mòbil on rep les notificacions. Obtenir un registre del comportament de les gallines a l'explotació.

La verificació del seu funcionament va ser senzilla. Donat que cada subsistema pot funcionar de forma independent i tots ells es van verificar abans de ser integrats en el sistema final. Només va ser necessari anar activant cadascun dels sensors i observar si els actuadors relacionats s'activen correctament, igual que es va fer per verificar cada subsistema. Com a evidència del funcionament s'aporta un vídeo que pot consultar-se al següent enllaç: <https://drive.google.com/file/d/1KDdRd0S62wq8yqAD6ujDYt2K-dxupit6/view?usp=sharing>.



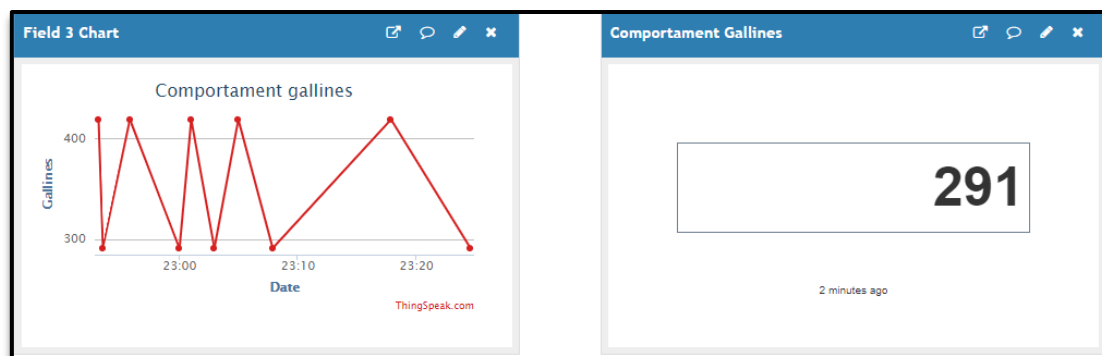
Font: Elaboració pròpia.

Figura 6-1: Muntatge del prototip final.



Font: Elaboració de ThingSpeak a partir de les dades del sensor.

Figura 6-2: Exemple de registres de temperatura i humitat ambient publicades al núvol de ThingSpeak.



Font: Elaboració de ThingSpeak a partir de les dades de les targetes RFID.

Figura 6-3: Exemple de registres i valors de les targetes RFID publicades al núvol de ThingSpeak.

6.2. Resultats secundaris

La metodologia del treball utilitzada ha fet que cada aspecte a automatitzar s'hagi resolt i verificat de forma independent dels altres. Aquesta forma de treballar ha facilitat el disseny i ha permès aïllar les dificultats. Però també ha produït uns prototips que, ofereixen solucions individuals a problemes concrets. L'objectiu del projecte era oferir una gestió unificada de la granja, però cadascun d'aquests prototips preliminars podria ser explorat de forma independent. Per això els hem considerat com a resultats secundaris del projecte.

Així doncs, com a resultats secundaris, disposem dels següents sistemes individuals amb les mateixes prestacions ja esmentades a l'apartat anterior:

- Sistema per obtenir un registre de la temperatura i la humitat ambient,
- Sistema per automatitzar la dosificació del pinso a les menjadores, i
- Sistema per estudiar el comportament de les gallines a partir d'un registre de pas de cada individu per determinats punts de l'explotació.

Per validar que cada prototip constitueix un resultat vàlid s'ha verificat el seu correcte funcionament. Per fer-ho, s'ha plantejat una prova de "laboratori" (no a la granja) on s'han activat els sensors corresponents i s'ha observat si els actuadors relacionats responien de forma adient. També s'ha verificat que les transmissions de la informació associada fossin correctes.

6.3. Valoració

La valoració global dels resultats obtinguts és satisfactòria, ja que es disposa d'un prototip funcional que respon a les necessitats plantejades a l'objectiu, permet explorar l'aplicació de les TIC a l'avicultura en llibertat, i a més facilita la realització de demostracions de les possibilitats que ofereix.

Per verificar el correcte funcionament del sistema s'han realitzat proves de "laboratori" (no a la granja). Cal recordar que l'objectiu era realitzar una prova de concepte. La construcció del prototip que pogués instal·lar-se en una granja presenta una problemàtica excedeix l'àbast d'aquest treball. Per exemple, les etiquetes RFID que s'han utilitzat són targetes i clauers convencionals. Evidentment, aquest material no resultaria adient per a anellar les gallines, però si és suficient per a provar la tecnologia al laboratori. Igualment, els materials i elements de construcció de les estructures haurien de ser prou resistents a l'acció dels animals, tant per protegir l'electrònica com per a la pròpia seguretat de les gallines. És a dir, els materials i procediments utilitzats han resultat adients per una prova de concepte, encara que la posada en marxa d'una prova pilot en una granja real necessitaria d'un refinament del disseny actual.

La situació excepcional de confinament per COVID-19, ha condicionat el desenvolupament del projecte, però no l'ha impedit i també ha tingut algun aspecte positiu. La principal limitació ha estat no poder accedir a la granja per estudiar el cas de la detecció de la posta dels ous. Aquest fet, juntament amb la dificultat per accedir a les eines del laboratori i a la compra de material, va fer que eliminéssim l'estudi d'aquest cas. La dificultat per adquirir material electrònic als proveïdors habituals de la universitat, també va obligar a utilitzar material disponible a botigues amb venda per internet dirigides al públic en general. Com a conseqüència, tots els components utilitzats són material convencional com el que utilitzen els aficionats a l'electrònica en els seus projectes. Aquest fet ha resultat positiu, ja que demostra que la nostra proposta és viable fins i tot utilitzant tecnologia fàcilment disponible al mercat.

El fet d'utilitzar tecnologia convencional, també redueix el cost del sistema. A tall informatiu, el cost dels materials utilitzats és de 40 € aproximadament. Cal tenir en compte que el cost d'un prototipus instal·lable en una granja seria superior, ja podria requerir d'altres components. També caldria comptabilitzar el cost de les instal·lacions auxiliars que fossin necessàries i els cost de les hores d'enginyeria.

7. Conclusions

A partir dels resultats del treball i la seva valoració, podem extreure les següents conclusions:

- L'objectiu principal d'aquest projecte s'ha complert. Es disposa d'un prototip funcional apte per a una prova de concepte. Podem dir, que l'aplicació de sensorització, automatització i la introducció de l'IoT en una granja de gallines ecològiques en llibertat és viable. I a més a més, és viable utilitzant tecnologia disponible al mercat.
- La funcionalitat aconseguida es valora com a una valuosa ajuda al avicultor. S'ha considerat que la unió dels tres casos estudiats en un únic prototip resulta interessant, ja que permet la gestió unificada de tots els casos.
- Pel que fa a la hipòtesi de partida, l'automatització de menjadores i abeuradors es considerava com a un cas de màxim interès. L'anàlisi inicial ha confirmat aquest interès i ha permès incorporar altres aspectes com ara el monitoratge de la temperatura i humitat ambientals i el comportament de les gallines a partir de la detecció de la seva presència a certs llocs de l'explotació. La detecció de la posta dels ous, també es plantejava a la hipòtesi com a un cas d'interès. Encara que va ser un dels casos seleccionats per a ser estudiat, les circumstàncies derivades del confinament no han permès realitzar aquest estudi.
- Les circumstàncies relacionades amb el COVID-19 han condicionat el desenvolupament del projecte, però no han reduït la validesa dels resultats i les conclusions del treball.

La verificació del funcionament del prototipus i l'experiència adquirida durant el desenvolupament del projecte ens permeten plantejar alguns treballs futurs que complementarien els resultat d'aquest treball:

- El primer aspecte seria iniciar l'estudi de la detecció de la posta dels ous, que no s'ha pogut dur a terme en aquest treball. Aquesta automatització és més complexa en comparació als altres tres casos escollits, ja que és necessari fer un estudi previ in situ, sobre la zona de l'explotació, que permeti determinar totes les variables necessàries per plantejar la sensorització on es troben les gallines.

- El segon aspecte a millorar està relacionat amb la dosificació del pinso. Concretament, proposem la creació d'una interfície d'usuari que permeti a l'avicultor canviar fàcilment la programació horària del dosificador. En el projecte, les hores d'activació estan fixades a l'algorisme del microcontrolador. Per canviar les hores cal reprogramar el microcontrolador. Aquesta circumstància és vàlida per a aquest treball, però no és pràctica en una explotació real.
- El darrer aspecte de millora proposat és fer funcionar el sistema electrònic amb un sistema d'alimentació autònom, basat en panells solars, per exemple. Això requeriria modificar el disseny i utilitzar tècniques de baix consum per estalviar energia. El processador utilitzat, l'ESP32, presenta tres tipus diferents de mode d'estalvi d'energia: "Deep-Sleep", "Modem-Sleep" i "Light-Sleep", cadascun amb les seves característiques i diferències. Per tant, serà necessari fer un estudi d'aquests tres estalvis d'energia per poder decidir quin és el més adient pel nostre projecte. Un dels elements que presenta un major consum energètic és la connexió WiFi. Es podrien estudiar altres formes de connexió sense fils que siguin més eficients des del punt de vista energètic [16].

8. Referències

1. De Clercq, M.; Vats, A.; Biel, A. (2018). *Agriculture 4.0: The future of farming technology*. Disponible a:
<https://www.worldgovernmentsummit.org/api/publications/document?id=95df8ac4-e97c-6578-b2f8-ff0000a7ddb6>. Consulta Setembre de 2020.
2. Universitat Autònoma de Barcelona (2019). *Volem tenir una imatge en temps real de com estan cada un dels animals de la granja*. Disponible a:
<https://www.uab.cat/web/sala-de-premsa/detall-de-noticia/8220-volem-tenir-una-imatge-en-temps-real-de-com-estan-cada-un-dels-animals-de-la-granja-8221-1345667174054.html?noticiaid=1345797204874>. Consulta Setembre de 2020.
3. Pérez, A.; Torres, R. (2013). *Monotorización en tiempo real y registro de parámetros de control en granjas porcinas*. Disponible a:
<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3386/pfc5195.pdf;jsessionid=56E98AC6F9708715B51FF4CDA5249328?sequence=1>. Consulta Setembre de 2020.
4. Vergé, S.; Vidal, R. (2015). *Desenvolupament de projectes d'aplicació de les TIC en el sector agrícola i ramader*. Disponible a:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/84811/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consulta Setembre 2020.
5. Articles sobre la aplicació de tecnologies TIC en granges agrícoles. Disponible a:
<https://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?newsearch=true&queryText=smart%20farming>. Consulta Setembre de 2020.
6. *Sensors de nivell de sòlids*. Disponible en línia a:
<https://www.altecdust.com/productos/controles-de-nivel/solidos/>. Consulta Setembre 2020.
7. Carné, S. (2020). *Introducció a l'avicultura ecològica*. Disponible a:
https://ruralcat.gencat.cat/c/document_library/get_file?uuid=b07da763-6c8e-4638-8580-d2b571e28a79&groupId=20181. Consulta Setembre 2020.
8. *Placa NodeMCU*. Luis Llamas. Disponible en línia a:
<https://www.luisllamas.es/esp8266-nodemcu/>. Consulta Setembre 2020.
9. *Llibreries d'Arduino*. Disponible en línia a:
<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/16/librerias-arduino-2/>.
Consulta Setembre 2020.

10. *ThingSpeak*. Disponible en línia a: <https://github.com/iobridge/thingspeak>. Consulta Setembre 2020.
11. *ThingSpeak*. Disponible en línia a: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/23/thingspeak/>. Consulta Setembre 2020.
12. *Bot de Telegram*. Disponible en línia a: <https://telegram.org/blog/bot-revolution>, <https://core.telegram.org/bots>. Consulta Setembre 2020.
13. *Sensor de temperatura i humitat DHT11 i DHT22*. Luis Llamas. Disponible en línia a: <https://www.luisllamas.es/arduino-dht11-dht22/>. Consulta Setembre 2020.
14. *Servo Motor*. Luis Llamas. Disponible en línia a: <https://www.luisllamas.es/controlar-un-servo-con-arduino/>. Consulta Setembre 2020.
15. *RFID-RC522*. Luis Llamas. Disponible en línia a: <https://www.luisllamas.es/arduino-rfid-mifare-rc522/>. Consulta Setembre 2020.
16. *ESP32 Deep Sleep with Arduino IDE and Wake Up Sources*. Disponible en línia a: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-deep-sleep-arduino-ide-wake-up-sources/>. Consulta Setembre 2020.
17. James, S. (2018). *Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming*. Disponible a: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2018.00087/full>. Consulta Setembre de 2020.
18. Carbonell, N. (2018). *Agricultura 4.0. ¿Qué es y de dónde viene?*. Disponible a: <http://www.nataliacarbonell.com/agricultura-4-0/>. Consulta Setembre de 2020.
19. Chavarrías, M. (2017). *Benestar animal per a una major seguretat alimentària*. Disponible a: <https://www.consumer.es/ca/seguridad-alimentaria-ca/benestar-animal-per-a-una-major-seguretat-alimentria.html>. Consulta Setembre 2020.
20. Animal Veterinary Medical Association. *Animal Welfare: What Is It?*. Disponible a: <https://www.avma.org/resources/animal-health-welfare/animal-welfare-what-it>. Consulta Setembre 2020.
21. *Diagrames de cablejat*. Disponible en línia a: <https://www.circuito.io/app?components=513,360217>. Consulta Setembre 2020.

Annexos

Annex 1. Codi del prototip final.

//LLIBRERIES NECESSARIES

```
#include <WiFiClientSecure.h>

#include <ThingSpeak.h>

#include <UniversalTelegramBot.h>

#include <WiFi.h>

#include <DHT.h>

#include "ESP32Servo.h"

#include <SPI.h>

#include <MFRC522.h>

#include <Wire.h>

#include <time.h>
```

//INFORMACIÓ SOBRE EL SENSOR DHT11/DHT22

```
#define DHTPIN 14

#define DHTTYPE DHT11

#define temps xxxxx

DHT dht (DHTPIN, DHTTYPE);

float h = dht.readHumidity();

float t = dht.readTemperature();
```

//INFORMACIÓ SERVO MOTOR

```
Servo myservo;

int pos = 0;
```

//ALARMES MOVIMENT SERVO MOTOR

```
#define horaAlarma0 (xx.x+xx.x/60)

#define duradaAlarma0 (x.0/60)
```



```
#define reiniciHora xxxx

#define reiniciMinut xxxx

bool state0 = false;

const char* ntpServer = "pool.ntp.org";

const long  gmtoffset_sec = 3600;

const int  daylightOffset_sec = 3600;

void printLocalTime()

{

    struct tm timeinfo;

    if(!getLocalTime(&timeinfo)){

        Serial.println("Failed to obtain time");

        return;

    }

    Serial.println(&timeinfo, "%A, %B %d %Y %H:%M:%S");

}


bool isScheduledON()

{

    struct tm timeinfo;

    if(!getLocalTime(&timeinfo)){

        Serial.println("Failed to obtain time");

        return false;

    }

    bool hourCondition=false;

    bool dayCondition=false;

    if ((timeinfo.tm_hour==reiniciHora) && (timeinfo.tm_min==reiniciMinut) && state0==true)
state0=false;

    int weekDay = timeinfo.tm_wday;

    float hours = timeinfo.tm_hour + timeinfo.tm_min/ 60.0;
```

```
if (state0==false && (hours>horaAlarma0 && hours<=(horaAlarma0+duradaAlarma0))){  
    hourCondition=true;  
    state0=true;  
}  
  
dayCondition = true; // aquí hi havia un dia concret  
if (hourCondition && dayCondition)  
{  
    return true;  
}  
else{  
    return false;  
}  
}
```

//INFORMACIÓ RFID

```
const int RST_PIN = 22;  
const int SS_PIN = 21;  
MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN);  
MFRC522::MIFARE_Key key;  
byte nuidPICC[4];  
int gallinalD=0;  
void printArray(byte *buffer, byte bufferSize) {  
    for (byte i = 0; i < bufferSize; i++) {  
        Serial.print(buffer[i] < 0x10 ? " 0" : " ");  
        Serial.print(buffer[i], HEX);  
    }  
}
```


// DADES SOBRE LA CONNEXIÓ RED WIFI

```
char ssid[] = xxxxxxxxx;
```

```
char password[] = xxxxxxxxx;
```

//INFORMACIÓ PER LA CONNEXIÓ AMB THINGSPEAK

```
unsigned long myChannelNumber = xxxxxxxxx;
```

```
const char* myWriteAPIKey = xxxxxxxxx;
```

//INSTANCIES PER LA CONNEXIÓ AMB TELEGRAM

```
char msg[30];
```

```
#define BOTtoken xxxxxxxxx
```

```
#define chatID xxxxxxxxx
```

```
int Bot_mtbs = 200;
```

```
long Bot_lasttime;
```

```
bool Start = false, bandera = false;
```

```
void Llegir_Sensor(void);
```

```
String chat_id;
```

```
String text;
```

```
String from_name;
```

//INSTANCIES PER LA CONNEXIÓ WIFI

```
WiFiClient client1;
```

```
WiFiClientSecure client;
```

```
UniversalTelegramBot bot(BOTtoken, client);
```

//ACCIONS AMB TELEGRAM

```
void handleNewMessages(int numNewMessages) {
```

```
    for (int i=0; i<numNewMessages; i++) {
```

```

if (bot.messages[i].type == "callback_query") {
    Serial.print("Call back button pressed by: ");
    Serial.println(bot.messages[i].from_id);
    Serial.print("Data on the button: ");
    Serial.println(bot.messages[i].text);
    bot.sendMessage(bot.messages[i].from_id, bot.messages[i].text, "");
} else {
    String chat_id = String(bot.messages[i].chat_id);
    String text = bot.messages[i].text;
    String from_name = bot.messages[i].from_name;
    if (from_name == "") from_name = "Guest";
    if (text == "/Sensor") {
        Llegir_Sensor();
        snprintf (msg, 28, "Temperatura: %2.1f \xF0\x9F\x8C\x9E \n", t);
        bot.sendMessage(chat_id, msg, "Markdown");
        snprintf (msg, 28, "Humitat: %2.1f \xF0\x9F\x92\xA7 \n", h);
        bot.sendMessage(chat_id, msg, "Markdown");
        bandera = true;
    }
    if (text == "/Opcions") {
        String keyboardJson = "[[{ \"text\" : \"Anar a ThingSpeak\", \"url\" : \"xxxxxxxxx\" }],[{
        \"text\" : \"Send\", \"callback_data\" : \"This was sent by inline\" }]]";
        bot.sendMessageWithInlineKeyboard(chat_id, "Escolleix la teva opció", "", keyboardJson);
    }
    if (text == "/Inici") { // Mensaje al iniciar el chat con el bot
        String welcome = "Monotorització menjadora \xF0\x9F\x90\x94, " + from_name + ".\n";
        welcome += "/Sensor : T i H ambient zona gallines\n";
        welcome += "/Opcions : Que necessites?\n";
        bot.sendMessage(chat_id, welcome, "Markdown");
        bandera = true;
    }
}

```

```
}  
  
if (text == "/id") {  
    String message = "Chat_id: " + (String)chat_id + "\n";  
    bot.sendMessage(chat_id, message);  
    Serial.println(chat_id);  
}  
}  
}  
}  
  
void setup() {  
    Serial.begin(115200);  
    Serial.print("Connectant amb la WiFi: ");  
    Serial.println(ssid);  
    Serial.println("");  
    Serial.println("WiFi connectat");  
    Serial.print("IP address: ");  
    Serial.println(WiFi.localIP());  
    WiFi.mode(WIFI_STA);  
    WiFi.begin(ssid, password);  
    dht.begin();  
    ThingSpeak.begin(client1);  
    myservo.attach(12);  
    configTime(gmtOffset_sec, daylightOffset_sec, ntpServer); //init and get the time  
    printLocalTime();  
    SPI.begin();  
    mfrc522.PCD_Init();  
    for (byte i = 0; i < 6; i++) {  
        key.keyByte[i] = 0xFF;
```

}

}

```
unsigned long tempsDarreraLectura = 0;
```

```
void loop() {
```

//COMANDES TELEGRAM

```
if (millis() > Bot_lasttime + Bot_mtbs) {
```

```
int numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
```

```
while(numNewMessages) {
```

```
Serial.println("Ha arribat un missatge!!");
```

```
handleNewMessages(numNewMessages);
```

```
numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
```

}

```
Bot_lasttime = millis();
```

}

//LECTURES T i H DHT11 i CONDICIÓN PER PENJAR DADES A THINGSPEAK

```
if (millis()-tempsDarreraLectura>temps) {
```

```
tempsDarreraLectura=millis();
```

```
float h = dht.readHumidity();
```

```
float t = dht.readTemperature();
```

```
if (isnan(h) || isnan(t)) {
```

```
Serial.println("Fall en la lectura del sensor DHT!");
```

```
return;
```

}

```
Serial.print("Humitat: ");
```

```
Serial.print(h);
```

```
Serial.print(" %\t");
```

```
Serial.print("Temperatura: ");
```



```
Serial.print(t);

Serial.println(" *C\t ");

ThingSpeak.setField(1, t);

ThingSpeak.setField(2, h);

ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);

Serial.println("¡Dades enviades a ThingSpeak!");

}
```

//SITUACIÓ D'ALARMA I PENJAR LA ALARMA A THINGSPEAK

```
if (t >= 27.50) { // Mensaje al iniciar el chat con el bot

    Serial.println("Temperatura elevada.");

    String message = "Temperatura elevada!!\n";

    bot.sendMessage(chatID, message);

    ThingSpeak.setField(1, t);

    ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);

}
```

//LECTURA TARGETES RFID

```
if (mfrc522.PICC_IsNewCardPresent())

{

    gallinalD=0;

    if (mfrc522.PICC_ReadCardSerial())

    {

        if (mfrc522.uid.uidByte[0] != nuidPICC[0] ||

            mfrc522.uid.uidByte[1] != nuidPICC[1] ||

            mfrc522.uid.uidByte[2] != nuidPICC[2] ||

            mfrc522.uid.uidByte[3] != nuidPICC[3] ) {

            Serial.print(F("UID de la targeta:"));

            printArray(mfrc522.uid.uidByte, mfrc522.uid.size);

        }

    }

}
```

```

    Serial.println();

    for (byte i = 0; i < 4; i++) {

        nuidPICC[i] = mfrc522.uid.uidByte[i];

        gallinalD=gallinalD+nuidPICC[i];

    }

    ThingSpeak.setField(3, gallinalD);

    ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber, myWriteAPIKey);

}

else Serial.println(F("Aquesta targeta s'ha llegit anteriorment."));

// Finalizar lectura actual

mfrc522.PICC_HaltA();

}

}

```

//INSTÀNCIES PEL MOVIMENT DEL SERVO MOTOR

```

printLocalTime();

if (isScheduledON() )

{

    Serial.println("Repartint pinso.");

    String message = "Repartint pinso!!\n";

    bot.sendMessage(chatID, message);

    Serial.println("Distribució menjar");

    for (pos = 0; pos <= 180; pos += 1) {

        myservo.write(pos);

        delay(25);

    }

    delay(10000);

    for (pos = 180; pos >= 0; pos -= 1) {

        myservo.write(pos);

```

```
    delay(15);  
  }  
}  
else  
{  
}  
}  
  
void Llegir_Sensor(void){  
  t = dht.readTemperature();  
  h = dht.readHumidity();  
}
```